

ANALISIS KERUNTUHAN BENDUNGAN (*DAM BREAK ANALYSIS*) DALAM UPAYA MITIGASI BENCANA (STUDI KASUS DI WADUK/ BENDUNGAN TEMPURAN)

Oleh:

Muhamad Arifin¹, Muchamad Arif Budiyan²

E-mail: nifira.arkana@gmail.com¹, arifbudiyan.sipil@gmail.com²

ABSTRAK: Bendungan Tempuran disamping bermanfaat untuk memenuhi berbagai kebutuhan bagi manusia, juga menyimpan potensi bahaya yang sangat besar bila tidak dikelola dengan baik, yaitu apabila bendungan tersebut runtuh dapat menyebabkan kerugian jiwa dan materi yang sangat besar, serta hancurnya infrastruktur yang ada di daerah hilirnya. Salah satu potensi bahaya yang dapat ditimbulkan adalah keruntuhan Bendungan. Keruntuhan dapat diakibatkan oleh bocoran yang membawa material bendungan secara berangsur-angsur yang disebut erosi buluh atau piping. Akibat keruntuhan tersebut, air yang tertampung di bendungan akan mengalir ke lembah sungai di hilir bendungan dengan debit yang sangat besar serta kecepatan aliran air banjir yang sangat tinggi. Untuk meminimalkan kerugian yang dapat ditimbulkan akibat keruntuhan bendungan, maka perlu dilakukan mitigasi bencana dalam rangka melakukan upaya tindakan preventif dengan cara melakukan simulasi pemodelan keruntuhan Bendungan.

Analisis keruntuhan Bendungan Tempuran (*dam break analysis*) dilakukan dengan pemodelan menggunakan bantuan software Zhong Xing HY21 dengan skenario kondisi muka air waduk setinggi banjir desain, dimana inflow hidrograf sama dengan banjir rencana. Kondisi dalam analisis keruntuhan bendungan tersebut ditinjau dalam alternatif kondisi akibat piping atas pada elevasi ± 123 m dengan inflow PMF (*probably maximum flood*). Kondisi ini diasumsikan merupakan kondisi yang paling optimal sebagai acuan untuk melakukan Tindakan rencana mitigasi bencana dalam upaya meminimalkan kerugian baik kerugian materiil maupun kerugian imateriil

Dari hasil analisis pemodelan tersebut dengan scenario piping atas dan dari hasil analisis hidrologi dengan debit inflow PMF (Snyder) sebesar $137,257 \text{ m}^3/\text{det}$ diperoleh hasil dampak banjir yang ditimbulkan sepanjang 9,911 km kearah hilir melalui aliran Sungai Ngampel yang bermuara di Sungai Lusi. Area terdampak meliputi 15 Desa di dua Kecamatan sepanjang sungai tersebut yang berada di hilir dari Bendungan Tempuran. Waktu tiba banjir ke desa terdekat (Desa Tempuran) adalah 15 menit sedangkan waktu banjir sampai ke desa terjauh (Desa kamolan) adalah 6 jam.

Keyword/Kata Kunci: Banjir Rancangan, Bendungan, Keruntuhan, Mitigasi.

1. PENDAHULUAN

Bendungan Tempuran, disamping bermanfaat untuk memenuhi berbagai kebutuhan bagi manusia, juga menyimpan potensi bahaya yang sangat besar bila tidak dikelola dengan baik, yaitu apabila bendungan tersebut runtuh akan menyebabkan kerugian jiwa dan materi, serta hancurnya infrastruktur yang ada di daerah hilirnya. Adanya Pembangunan suatu bendungan seringkali diikuti dengan perkembangan masyarakat di daerah hilirnya, hal tersebut menyebabkan semakin bertambahnya tingkat bahaya keruntuhan bendungan. Keruntuhan bendungan dapat diakibatkan oleh *overtopping* dimana air yang melimpas melalui puncak bendungan menyebabkan terjadinya erosi serta longsor pada tubuh bendungan, khususnya pada bendungan tipe urugan.

Keruntuhan dapat juga diakibatkan oleh bocoran yang membawa material bendungan secara berangsur-angsur yang disebut erosi buluh atau piping. Akibat keruntuhan tersebut, air yang tertampung di bendungan akan mengalir ke lembah sungai di hilir bendungan dengan debit yang sangat besar serta kecepatan aliran air banjir yang sangat tinggi. Bila kapasitas alur sungai tidak dapat menampung debit air banjir tersebut, maka air akan meluap keluar dari alur sungai dan menggenangi daerah pemukiman maupun lahan pertanian di sepanjang kanan kiri alur sungai.

1,2) adalah staf pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Cokroaminoto Yogyakarta

Mengingat adanya kemungkinan terjadinya malapetaka yang diakibatkan oleh runtuhnya suatu bendungan terhadap kondisi yang ada di hilir bendungan, dimana antara lain terdapat daerah permukiman yang cukup padat penduduknya dan/atau daerah industri serta berbagai bangunan fasilitas umum lainnya seperti jembatan, jalan raya dan lain-lain, maka perlu dilakukan analisis terhadap kondisi hidrolis alur dan lembah sungai di hilir (downstream valley) bendungan, khususnya apabila bendungan tersebut runtuh.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sampai sejauh mana dampak yang ditimbulkan akibat dari keruntuhan Bendungan Tempuran meliputi :

- a. Dampak genangan yang ditimbulkan akibat keruntuhan Bendungan Tempuran
- b. Wilayah terdampak dalam lingkup desa dan kecamatan akibat keruntuhan bendungan
- c. Waktu tempuh banjir dari masing-masing wilayah terdampak
- d. Penanganan dalam rangka upaya mitigasi bencana dalam rangka meminimalisasi kerugian baik material maupun immaterial.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bendungan Tipe Urugan

Menurut Suyono (1977) suatu bendungan yang dibangun dengan menimbun bahan-bahan seperti batu, kerakal, kerikil, pasir, dan tanah dengan komposisi tertentu dengan fungsi sebagai pengempang atau pengangkat permukaan air yang terdapat di dalam waduk di hulunya disebut bendungan tipe urugan atau "bendungan urugan". Berdasarkan ukuran butiran dari bahan timbunan yang digunakan, secara umum bendungan urugan dapat dibedakan menjadi 2 tipe yaitu :

1. Bendungan urugan batu (rock fill dam) disingkat dengan istilah bendungan batu
2. Bendungan urugan tanah (earth fill dam) disingkat dengan istilah bendungan tanah

Selain dari kedua jenis bendungan tersebut, terdapat pula bendungan urugan campuran yaitu terdiri dari timbunan batu di bagian hilirnya yang berfungsi sebagai penyangga, sedangkan di bagian hulunya merupakan timbunan tanah yang disamping berfungsi sebagai penyangga tambahan, terutama berfungsi sebagai penutup kedap air.

2.2. Klasifikasi Bendungan Urugan

Sesuai dengan fungsinya sebagai penampung dan peninggi muka air di dalam tampungan waduk, maka fungsi utama dari tubuh bendungan merupakan penahan rembesan air ke arah hilir serta penyangga dari tampungan/ kom dari waduk tersebut.

Jika ditinjau dari penempatan serta susunan bahan yang membentuk tubuh bendungan, maka bendungan urugan dapat digolongkan dalam 3 tipe utama yaitu :

1. Bendungan urugan homogen (bendungan homogen)
Bendungan urugan digolongkan dalam bendungan homogen apabila bahan bahan yang membentuk tubuh bendungan tersebut terdiri dari tanah yang hamper sejenis dan gradasinya (susunan ukuran butirannya) hamper seragam.
2. Bendungan urugan zonal (bendungan zonal)
Bendungan urugan digolongkan dalam bendungan zonal apabila timbunan yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi (susunan ukuran butiran) yang berbeda-beda dalam urutan-urutan lapisan tertentu.
3. Bendungan urugan bersekat (bendungan sekat)
Bendungan urugan digolongkan dalam bendungan sekat apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lolos air, tetapi di lengkapi dengan dinding yang tidak lolos air di bagian lereng hulunya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, beton bertulang, aspal beton, plastic, dll.

Untuk lebih jelasnya secara detail tipe bendungan dapat dilihat dalam gambar 1.1 di bawah ini.

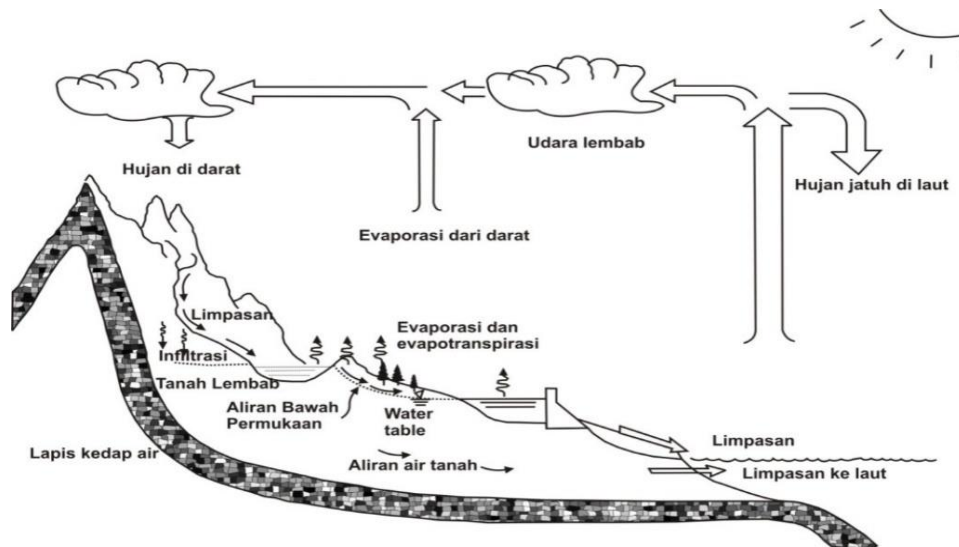
Type:	Skema Umum	Keterangan
Bendungan Homogen		Apabila 80% dari seluruh bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang bergradasi hampir sama.
Bendungan Zonal	Bendungan Tirai 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan tirai kedap air di udiknya.
	Bendungan Inti miring 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan miring ke hilir.
	Bendungan Inti vertikal 	Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan inti kedap air yang berkedudukan vertikal.
Bendungan Sekat		Apabila bahan pembentuk tubuh bendungan terdiri dari bahan yang lulus air, tetapi dilengkapi dengan dinding tidak lulus air di lereng udiknya, yang biasanya terbuat dari lembaran baja tahan karat, lembaran beton bertulang, aspal beton, lembaran plastik, dll. nya.

Gambar 1. Klasifikasi Bendungan Urugan (sumber Suyono, 1977)

2.3. Hujan dan Aliran

Prosedur perencanaan pemanfaatan sumber daya air kerap kali memerlukan nilai-nilai laju hujan, tebal hujan, dan karakter aliran. Karakter aliran yang perlu diketahui sangat berkaitan dengan sasaran pemanfaatan air. Seringkali hanya debit puncak yang digunakan untuk debit perencanaan, tetapi tidak jarang pula besarnya aliran dari waktu ke waktu perlu dianalisa untuk perencanaan penyediaan air bagi suatu keperluan (Sudjarwadi, 1988).

Proses pembentukan hujan dapat terjadi akibat tersedianya udara lembab, tersedia sarana, keadaan yang dapat mengangkat uap air tersebut keatas sehingga terjadi kondensasi. Udara lembab biasanya terjadi karena adanya gerakan udara mendatar, khususnya yang berasal dari atas lautan. Terjadinya pembentukan awan tidak selalu memungkinkan terjadinya hujan, diperlukan waktu sampai awan tersebut terbentuk menjadi awan hujan (Sri Harto, 1993).



Gambar 2. Siklus Hidrologi (sumber : Triatmojo, 2008)

3. LANDASAN TEORI

3.1. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi yang akan dilakukan terutama dimaksudkan untuk memperkirakan besarnya debit puncak, sebagai dasar untuk menentukan debit banjir rencana dalam simulasi

keruntuhan Bendungan Tempuran. Beberapa tahapan yang dilakukan dalam rangka analisis hidrologi antara lain adalah analisis curah hujan rencana, dan analisis debit banjir rancangan.

i) Curah Hujan Rencana

Penentuan curah hujan rencana dilakukan dengan cara statistik yaitu dengan analisis frekuensi. Analisis frekuensi dimaksudkan untuk mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas. Kejadian ekstrim dalam studi ini adalah curah hujan ekstrim yaitu curah hujan harian maksimum setiap tahun yang diukur dalam beberapa tahun.

Analisis frekuensi merupakan suatu prosedur untuk memperkirakan frekuensi dari suatu kejadian pada masa lalu atau masa yang akan datang. Analisis frekuensi digunakan untuk menentukan hujan rencana dalam berbagai periode ulang berdasarkan distribusi yang paling sesuai antara distribusi hujan secara teoritik dengan distribusi hujan secara empirik. Hujan rancangan ini digunakan untuk menentukan intensitas hujan yang diperlukan dalam perhitungan debit banjir menggunakan metode rasional.

Periode ulang adalah waktu hipotetik dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tersebut. Periode ulang T tahun, misal $T = 50$ tahun, hujan yang diperkirakan adalah hujan 50 tahunan, mengandung pengertian bahwa hujan tersebut diharapkan disamai atau dilampaui rata-rata satu kali dalam 50 tahun. Hal ini tidak berarti bahwa hujan 50 tahunan hanya akan terjadi satu kali dalam periode 50 tahun yang berurutan, melainkan diperkirakan bahwa hujan tersebut jika dilampaui k kali dalam periode panjang M tahun akan mempunyai nilai k/M yang kira-kira sama dengan $1/50$.

Probabilitas bahwa suatu kejadian akan menyamai atau lebih besar dari suatu nilai tertentu (hujandengan periode ulang T) atau dengan kata lain probabilitas bahwa suatu

kejadian atau peristiwa akan terjadi dalam satu tahun ditentukan dengan $1/T$. Langkah-langkah analisis frekuensi adalah sebagai berikut :

- 1) Menentukan hujan harian maksimum rerata untuk tiap-tiap tahun data.
- 2) Menghitung parameter statistik dari data yang telah diurutkan dari besar ke kecil, yaitu: *Mean, Standard Deviation, Coefficient of Variation, Coefficient of Scewness, Coefficient of Curtosis*.
- 3) Menentukan jenis distribusi berdasarkan parameter statistik yang ada.
- 4) Sifat-sifat khas dari setiap macam distribusi frekuensi adalah sebagai berikut.
 - a. Distribusi Normal
Ciri khas distribusi Normal adalah:
 - 1) Skewness (Cs) $\cong 0,00$
 - 2) Kurtosis (Ck) = 3,00
 - 3) Prob $X \leq (\bar{X} - S)$ = 15,87 %
 - 4) Prob $X \leq \bar{X}$ = 50,00 %
 - 5) Prob $X \leq (\bar{X} + S)$ = 84,14 %
 - b. Distribusi Log Normal
Sifat statistik distribusi Log Normal adalah:
 - 1) $Cs \cong 3 Cv$
 - 2) $Cs > 0$
 - c. Distribusi Gumbel
Ciri khas statistik distribusi Gumbel adalah:
 - 1) $Cs \cong 1,396$
 - 2) $Ck \cong 5,4002$
 - d. Distribusi Pearson II Sifat statistik distribusi ini adalah:
 - 1) jika tidak menunjukkan sifat-sifat seperti pada ketiga distribusi di atas,
 - 2) garis teoritik probabilitasnya berupa garis lengkung.
- 5) Berdasarkan jenis distribusi terpilih dihitung besaran hujan rancangan untuk kala ulang tertentu. Secara umum, persamaan garis teoritik probabilitas untuk analisis frekuensi dapat dinyatakan dengan rumus sederhana sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S \quad (1)$$

dengan:

- X_T = Hujan rancangan dengan kala ulang T tahun,
 \bar{X} = Besaran rata-rata,
 S = Simpangan baku,
 K_T = Faktor frekuensi untuk kala ulang T tahun.

PMP didefinisikan sebagai tinggi terbesar hujan dengan durasi tertentu yang secara meteorologis dimungkinkan bagi suatu daerah pengaliran dalam suatu waktu dalam tahun, tanpa adanya kelonggaran yang dibuat untuk trend klimatologis jangka panjang (C.D Soemarto, 1995).

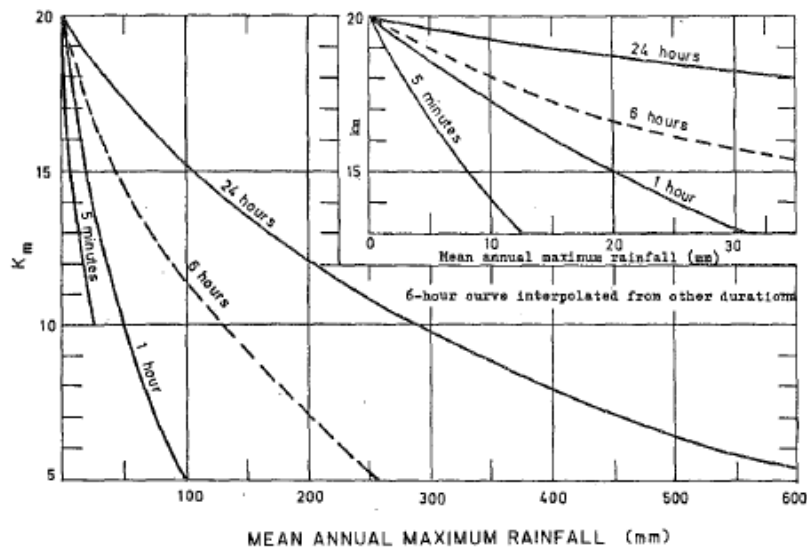
Hersfield mengajukan rumus yang didasarkan atas persamaan frekuensi umum, dikembangkan oleh Chow (1951) dalam Ward dan Robinson (1990). Rumus ini mengaitkan antara besarnya PMP untuk lama waktu hujan tertentu terhadap nilai tengah (X_n) dan standar deviasi (S_n).

$$PMP = X_n + K_m \cdot S_n \quad (2)$$

Dengan:

- PMP = Probable Maximum Precipitation
 K_m = faktor pengali terhadap standar deviasi (5-20)
 X_n = nilai tengah (mean) data hujan maksimum tahunan
 S_n = standar deviasi data hujan maksimum tahunan

Nilai K_m diperoleh dari grafik di bawah ini



Gambar 3. Grafik Penentuan Nilai K_m
Sumber: WMO 1986.

ii) Debit Banjir Rencana

Analisis debit banjir dimaksudkan untuk menentukan besaran debit banjir rencana berdasarkan data dan kondisi saat ini. Pemilihan metode analisis debit banjir rencana tergantung ketersediaan data aliran. Oleh karena data aliran tidak diperoleh debit banjir dihitung dengan menggunakan transformasi hujan menjadi aliran. Analisis debit banjir rencana dilakukan berdasarkan hujan rencana dan kondisi DAS Tempuran untuk berbagai kala ulang termasuk PMF.

Analisis banjir rancangan dilakukan dengan bantuan hidrograf satuan sintesis. Hidrograf satuan sintesis digunakan dalam analisis hidrologi dimana ketersediaan data hidrologi sangat terbatas dan tidak bisa digunakan untuk menurunkan hidrograf satuan, sehingga perlu di buat hidrograf satuan sintesis yang didasarkan pada karakteristik fisik dari sebuah DAS. Analisis banjir rencana dilakukan dengan menurunkan hidrograf satuan sintesis dengan metode HSS Snyder.

Parameter yang dikembangkan dalam metode Hidrograf Satuan Sintesis Snyder terdiri dari empat parameter yaitu waktu kelambatan, aliran puncak, waktu dasar, dan durasi standar dari hujan efektif untuk hidrograf satuan dikaitkan dengan geometri fisik dari DAS dengan hubungan berikut.

$$T_p = C_t (L L_c)^{0,3}$$

$$Q_p = C_p A / t_p$$

$$T = 3 + (t_p / 8)$$

$$T_D = t_p / 5,5$$

Apabila durasi hujan efektif t_r tidak sama dengan durasi standar t_D , maka:

$$T_{pR} = t_p + 0,25 (t_r - t_D)$$

$$Q_{pR} = Q_p t_p / t_{pR}$$

dengan:

- t_D = durasi standar dari hujan efektif (jam)
- t_r = durasi hujan efektif (jam)
- t_p = waktu dari titik berat durasi hujan efektif t_D ke puncak hidrograf satuan (jam)

3.2.1. Mekanisme Keruntuhan Bendungan

Mekanisme keruntuhan bendungan pada umumnya dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua), yaitu (1) Luapan Air di Atas Puncak Tanggul (*Overtopping*) dan (2) Aliran Air pada Tubuh Bendungan atau Batuan Pondasi (*Piping*). *Overtopping* adalah limpahan air melewati puncak (mercu) bendungan karena terjadinya banjir besar (berlebihan) dan/atau tidak bekerjanya pintu. Identifikasi terjadinya *overtopping* :

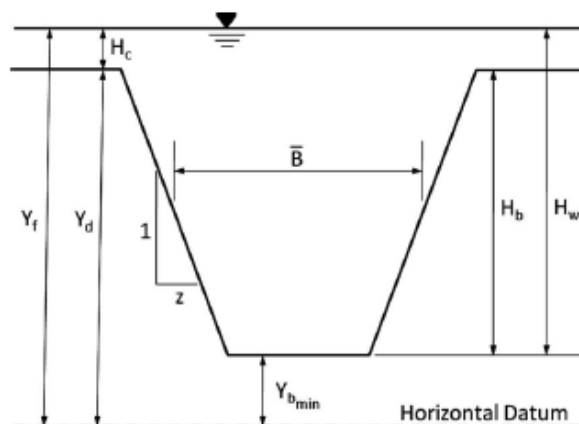
1. Kondisi elevasi air di atas maksimal (elevasi di atas mercu bangunan pelimpah),
2. Pintu macet dan atau pelimpah tersumbat,
3. Terjadi hujan deras terus menerus selama lebih dari 9 jam,
4. Penambahan tinggi muka air > 30 cm/hari.

Mekanisme keruntuhan bendungan yang kedua adalah akibat adanya aliran air pada tubuh bendungan atau batuan pondasi (*piping*). Yang dimaksud dengan *piping* (bocoran) adalah keadaan dimana air waduk menerobos keluar melalui lubang yang terjadi pada tubuh/pondasi bendungan yang disebabkan oleh erosi buluh yang cukup besar. *Piping* dapat terjadi karena adanya proses geologi yang menyebabkan terjadinya pelarutan mineral pada pondasi bendungan. Oleh karena itu pengamatan tubuh bendungan dan sekitarnya perlu dilakukan secara terus menerus agar sedini mungkin dapat segera mendeteksi bocoran pada pondasi.

Elemen kunci untuk menghitung hidrograf keruntuhan bendungan untuk bendungan yang spesifik adalah mengestimasi parameter keruntuhan bendungan yang berkaitan dengan geometri dan waktu pembentukan keruntuhan bendungan (FEMA, 2013). Parameter keruntuhan bendungan tersebut yaitu:

- a. **Waktu pembentukan keruntuhan** adalah waktu antara keruntuhan pertama kali pada lereng hulu bendungan dan ketika keruntuhan telah mencapai geometri akhir.
- b. **Kedalaman keruntuhan** adalah kedalaman yang diukur dari elevasi dasar keruntuhan hingga puncak keruntuhan bendungan.
- c. **Lebar keruntuhan** adalah rata-rata lebar keruntuhan akhir, biasanya diukur pada titik tengah kedalaman keruntuhan.
- d. **Faktor kemiringan sisi keruntuhan** adalah sudut sisi keruntuhan yang ditunjukkan sebagai X horizontal dan 1 vertikal (XH:1V)

Model empiris sederhana bentuk keruntuhan bendungan trapesoidal merupakan bentuk yang sering diaplikasikan (Fread and Harbaugh, 1973; Fread, 1984; U.S. Army Corps of Engineers, 1978; dan Brunner, 2002 dalam Froehlich, 2008). Gambar 7.1 menunjukkan perkiraan dimensi akhir keruntuhan bendungan dengan bentuk trapesoidal.



Keterangan

- a. H_b = tinggi bendungan,
- b. \bar{B} = lebar rata-rata,
- c. z = rasio kemiringan lereng 1: z (vertikal: horisontal).
- d. Keruntuhan bendungan dimulai ketika elevasi muka tampungan mencapai elevasi keruntuhan (y_f).

Gambar 5. Perkiraan Dimensi Akhir Bentuk Keruntuhan Bendungan
Sumber: Froehlich (2008)

Persamaan untuk mencari parameter-parameter keruntuhan bendungan telah dikembangkan oleh banyak peneliti. Rangkuman persamaan parameter keruntuhan bendungan telah diringkas oleh Wu (2011) seperti yang ditunjukkan pada tabel 1 **Tabel 1 Rangkuman Persamaan Parameter Keruntuhan Bendungan**

Peneliti	Persamaan
Kirkpatrick (1977)	$Q_p = 1,268 (h_w + 0,3)^{2,5}$
SCS (1981)	$Q_p = 16,6 (h_w)^{1,85}$
Hagen (1982)	$Q_p = 0,54 (h_d S)^{0,5}$
Singh dan Snorrason (1984)	$Q_p = 1,77S^{0,475}$ atau $Q_p = 13,4 (h_d)^{1,89}$
MacDonald and Langride-Monopolis (1984)	$V_{er} = 0,0261 (V_w h_w)^{0,769}$ (timbunan tanah) $V_{er} = 0,00348 (V_w h_w)^{0,852}$ (nontimbunan tanah) $T_f = 0,0179 (V_{er})^{0,364}$; $Q_p = 1,154 (V_w h_w)^{0,41}$
Costa (1985)	$Q_p = 0,981 (h_d S)^{0,42}$
Evan	$Q_p = 0,72 (V_w)^{0,53}$
USBR (1988)	$B_{avg} = 3h_w$; $t_f = 0,011 B_{avg}$; $Q_p = 19,1 (h_w)^{1,85}$
Von Thun and Gillette (1990)	$B_{avg} = 2,5h_w + C_b$ $t_f = B_{avg} / (4h_w)$ (erosion resistant) $t_f = B_{avg} / (4h_w + 61)$ (highly erodible)
Froechlich (1995a)	$Q_p = 0,607 (V_w)^{0,295} (h_w)^{1,24}$
Froechlich (1995b)	$B_{avg} = 0,1803 K_o (V_w)^{0,32} (h_b)^{0,19}$; $t_f = 0,00254 (V_w)^{0,53} (h_b)^{-0,9}$
Walder and O'Connor (1997)	$Q_p = f (V_w, \text{relative erodibility})$
Xu dan Zhang (2009)	$B, Q_p, t_f = f(V_w, h_w, \text{erodibility})$
Pierce et al. (2010)	$Q_p = 0,0176 (V_h)^{0,606}$ atau $Q_p = 0,0381 V^{0,475} h^{1,09}$

Keterangan: B = lebar keruntuhan; B_{avg} = rata-rata lebar keruntuhan (m); C_b = faktor sebagai fungsi dari volume tampungan; h = tinggi air di belakang bendungan; h_b = tinggi keruntuhan (m); h_d = tinggi bendungan (m); h_w = tinggi air di atas keruntuhan (m); K_o ¼ 1:4 untuk overtopping and 1.0 untuk piping; Q_p = debit puncak (m³/s); S = volume tampungan (m³); t_f = waktu keruntuhan (h); V = volume air di belakang bendungan; V_{er} = volume timbunan material yang tererosi (m³); V_w = volume air yang melewati bagian atas keruntuhan (m³); and z = koefisien kemiringan lereng sisi keruntuhan seperti terlihat pada gambar 6.1

Sumber: Wu (2011)

Selain penggunaan persamaan keruntuhan bendungan, beberapa lembaga telah mempublikasikan rentang kemungkinan nilai parameter keruntuhan bendungan seperti: lebar, kemiringan sisi, dan waktu pembentukan keruntuhan bendungan. Tabel berikut ini menunjukkan rentang kemungkinan nilai karakteristik keruntuhan bendungan yang diringkas oleh USACE (2007) dalam Gee (2009).

Tabel 2 Rentang Kemungkinan Nilai Karakteristik Keruntuhan Bendungan

Tipe bendungan	Rata-rata lebar keruntuhan B_{ave}	Komponen horisontal pada lereng sisi keruntuhan (H) H:1V	Waktu keruntuhan t_f (hrs)	Lembaga
Timbunan tanah/batu	(0.5 to 3.0) x HD	0 to 1.0	0.5 to 4.0	USACE (1980)
	(0.5 to 5.0) x HD	0 to 1.0	0.1 to 4.0*	USACE (2007)
	(1.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0	0.1 to 1.0	FERC (1988)

	(2.0 to 5.0) x HD	0 to 1.0 (slightly larger)	0.1 to 1.0	NWS (Fread, 2006)
Tipe bendungan	Rata-rata lebar keruntuhan B_{ave}	Komponen horisontal pada lereng sisi keruntuhan (H) H:1V	Waktu keruntuhan t_f (hrs)	Lembaga
Concrete Gravity	Multiple Monoliths Biasanya $\leq 0.5 L$ Biasanya $\leq 0.5 L$	Vertikal Vertikal Vertikal	0.1 to 0.5 0.1 to 0.3 0.1 to 0.2	USACE (2007) FERC NWS
Concrete Arch	Entire Dam (0.8 x L) to L Entire Dam (0.8 x L) to L	Valley wall slope 0 to valley walls 0 to valley walls 0 to valley walls	≤ 0.1 ≤ 0.1 ≤ 0.1 ≤ 0.1	USACE (1980) USACE (2007) FERC NWS
Slag/ Refuse	(0.8 x L) to L (0.8 x L) to L	1.0 to 2.0	0.1 to 0.3 ≤ 0.1	FERC NWS

Keterangan: HD = tinggi bendungan. L = panjang puncak bendungan.

Sumber: USACE (2007) dalam Gee (2009)

3.2.2. Pemodelan Keruntuhan Bendungan

Sebelum bendungan mengalami keruntuhan total, didahului oleh terjadinya rekahan (*breaching*). Rekahan adalah lubang yang terbentuk dalam tubuh bendungan pada saat runtuh. Sebenarnya mekanisme keruntuhannya tidak begitu dipahami, baik untuk bendungan urugan tanah maupun bendungan beton. Untuk meramal banjir di daerah hilir akibat keruntuhan bendungan, biasanya dianggap bahwa bendungan runtuh secara total dan secara mendadak.

Para peneliti dari gelombang banjir akibat keruntuhan bendungan seperti Ritter (1892), Schoklitch (1917), Dressler (1954), Stoker (1957) dan Barnes (1969) menganggap bahwa rekahan tersebut meruntuhkan seluruh tubuh bendungan dan terjadi secara mendadak. Sedangkan peneliti lain seperti Schoklitsch (1917) dan US Army Corps of Engineers (1960) mengakui perlunya anggapan rekahan sebagian, dibandingkan rekahan total, tetapi mereka masih menganggap bahwa rekahan terjadi secara mendadak. Asumsi rekahan total dan kejut ini digunakan dengan alasan untuk memudahkan bila diterapkan teknik matematika untuk menganalisis gelombang banjir dari keruntuhan bendungan. Asumsi asumsi ini agak cocok bila dipakai untuk bendungan beton pelengkung (*concrete arch dam*). Sedangkan untuk bendungan urugan maupun concrete gravity dam kurang cocok. Terdapat dua jenis rekahan yaitu rekahan karena *overtopping* dan rekahan karena *piping*.

1) Rekahan Karena *overtopping*

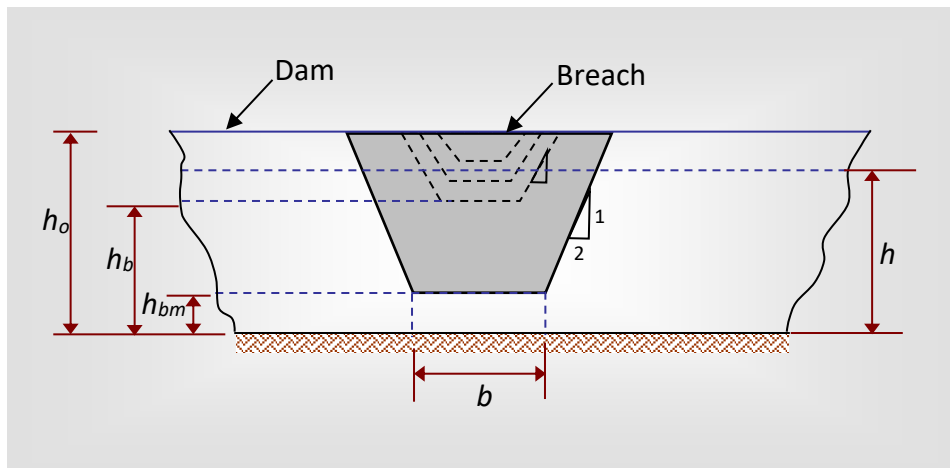
Rekahan karena *overtopping* disimulasikan berupa rekahan yang berbentuk segi empat, segitiga atau trapesium. Rekahan tersebut makin lama makin membesar dengan waktu secara progresif dari puncak bendungan ke bawah sampai mencapai pondasi. Aliran yang melewati rekahan diperhitungkan sebagai aliran melewati ambang lebar (*broad crested weir*).

Bentuk dari *terminal breach* ditentukan oleh parameter (Z) yang mengidentifikasi lereng samping dari rekahan, yaitu lereng vertikal : Z horisontal, dan parameter (b) yang disebut lebar terminal dari dasar rekahan.

Rentangan (*range*) dari nilai parameter lereng samping Z adalah : $0 < Z < 2$. Nilai ini tergantung dari lereng alam dari material yang dipadatkan dan dibasahi. Bentuk-bentuk segipanjang, segitiga atau trapesium ditentukan dengan menggunakan kombinasi nilai-nilai Z dan b.

Lebar terminal b dihubungkan dengan lebar rata-rata dari rekahan b , kedalaman rekahan h dan lereng rekahan (Z), sedemikian rupa sehingga :

$$b = b_{bar} - 0,5 Zh_d \dots\dots\dots(1)$$



Gambar 6. Formasi Perubahan Ukuran Rekahan Yang Terjadi Pada Tubuh Bendungan Akibat Overtopping

Seperti terlihat pada gambar di atas, rekahan tersebut dimulai pada satu titik kemudian membesar dengan kecepatan linier atau nonlinier dalam selang waktu keruntuhan τ hingga tercapai lebar terminal b dan dasar rekahan tererosi hingga elevasi h_{bm} yang biasanya merupakan elevasi dasar waduk atau *outlet channel*.

Jika $\tau < 1$ menit, lebar rekahan dimulai dengan nilai b bukan dari nol. Ini lebih menunjukkan peristiwa kehancuran karena ambruk (*collapse failure*) dari pada kehancuran karena erosi. Elevasi dasar rekahan di simulasikan sebagai fungsi dari waktu (τ) menurut hubungan berikut ini :

$$h_b = h_d - (h_d - h_{bm}) (t_b / \tau)^\rho \text{ untuk } 0 < t_b \leq \tau \dots\dots\dots(3)$$

dimana :

h_{bm} = elevasi final dari dasar rekahan

t_b = waktu sejak mulai terjadi rekahan

ρ = pangkat yang menunjukkan non linieritas yang besarnya antara 1 sampai 4

Besarnya = 1 apabila kecepatan rekahan linier

Besarnya = 2 apabila kecepatan rekahan nonlinier kuadratik.

Lebar dasar kejut (b) dari rekahan di berikan sebagai hubungan sebagai berikut :

$$b_i = b (t_b / \tau)^\rho \text{ untuk } 0 < t_b \leq \tau \dots\dots\dots(4)$$

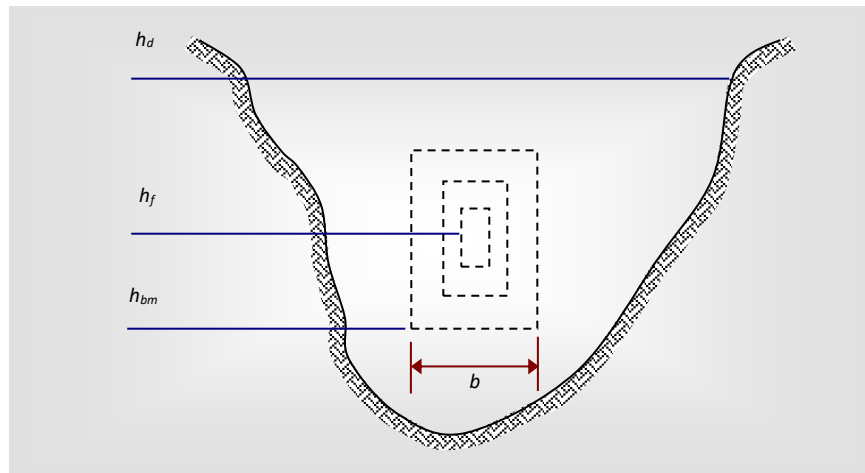
b_i = lebar kejut rekahan

Selama simulasi dari keruntuhan bendungan, formasi rekahan yang sesungguhnya dimulai bila elevasi muka air (h) melebihi suatu nilai h_f . Gambaran ini memungkinkan adanya simulasi suatu pelimpahan (*overtopping*) dari suatu bendungan dimana

rekahannya tidak akan terbentuk sampai aliran airnya cukup besar melewati mercu bendungan

2) Rekahan Karena Piping

Keruntuhan bendungan akibat piping dapat disimulasikan dengan menentukan elevasi sumbu dari pipingnya. Ini disimulasikan sebagai rekahan lubang (*orifice*) berbentuk segiempat.



Gambar 7. Formasi Perubahan Ukuran Rekahan Yang Terjadi Pada Tubuh Bendungan Akibat Piping

Rekahan karena piping disimulasikan sebagai lubang (*orifice*) rekahan berbentuk segiempat yang tumbuh dengan waktu keatas dan kebawah dalam tubuh bendungan. Aliran kejut (*instantaneous flow*) lewat rekahan tersebut dihitung dengan rumus orifice atau sebagai ambang lebar, tergantung pada posisi muka air diwaduk dan puncak dari *orifice*.

Debit yang keluar dari kedua macam rekahan tersebut merupakan hidrograf banjir yang terjadi pada penampang melintang 0 (permulaan), yang harus ditelusur ke hilir disepanjang lembah sungai dengan metode "**Unsteady flow**".

3) Pemeriksaan Parameter Rekahan

Cara lain untuk memeriksa kebenaran parameter rekahan (b_{bar} dan τ) adalah dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$Q_p^* = 370 (V_r h_d)^{0,5} \dots\dots\dots (5)$$

$$Q_p = 3,1 b_{bar} [C / \{\tau + C / (h_d)^{0,5}\}]^3 \dots\dots\dots (6)$$

$$C = 23,4 A_s / b_{bar} \dots\dots\dots (7)$$

dalam mana :

Q_p^* = debit puncak yang diharapkan lewat rekahan.

Q_p = debit puncak yang diharapkan lewat rekahan.

V_r = volume waduk.

A_s = luas permukaan waduk pada puncak bendungan.

Persamaan (4) dikembangkan oleh Hagen (1962) untuk data historik bagi 14 keruntuhan bendungan dan menghasilkan lingkungan maksimum dari seluruh 14 buah debit yang diamati.

Rumus (5) dan (6) dibuat Fread (1981) dan digunakan oleh National Weather Service dalam Simplified Dam Break Model, SMP DBK (Wetmore dan Fread, 1984). Setelah dipilih b_{bar} dan τ , persamaan (5) dapat dipakai untuk menghitung Q_p yang kemudian dapat dibandingkan dengan Q_p^* , maka b_{bar} kecil dan/atau τ terlalu besar. Fread menemukan bahwa Pers (b) merupakan "over estimasi" debit puncak untuk tiap kegagalan dari 21 bend, (termasuk 14 kegagalan yang disebutkan sebelumnya, rata-rata 130%.

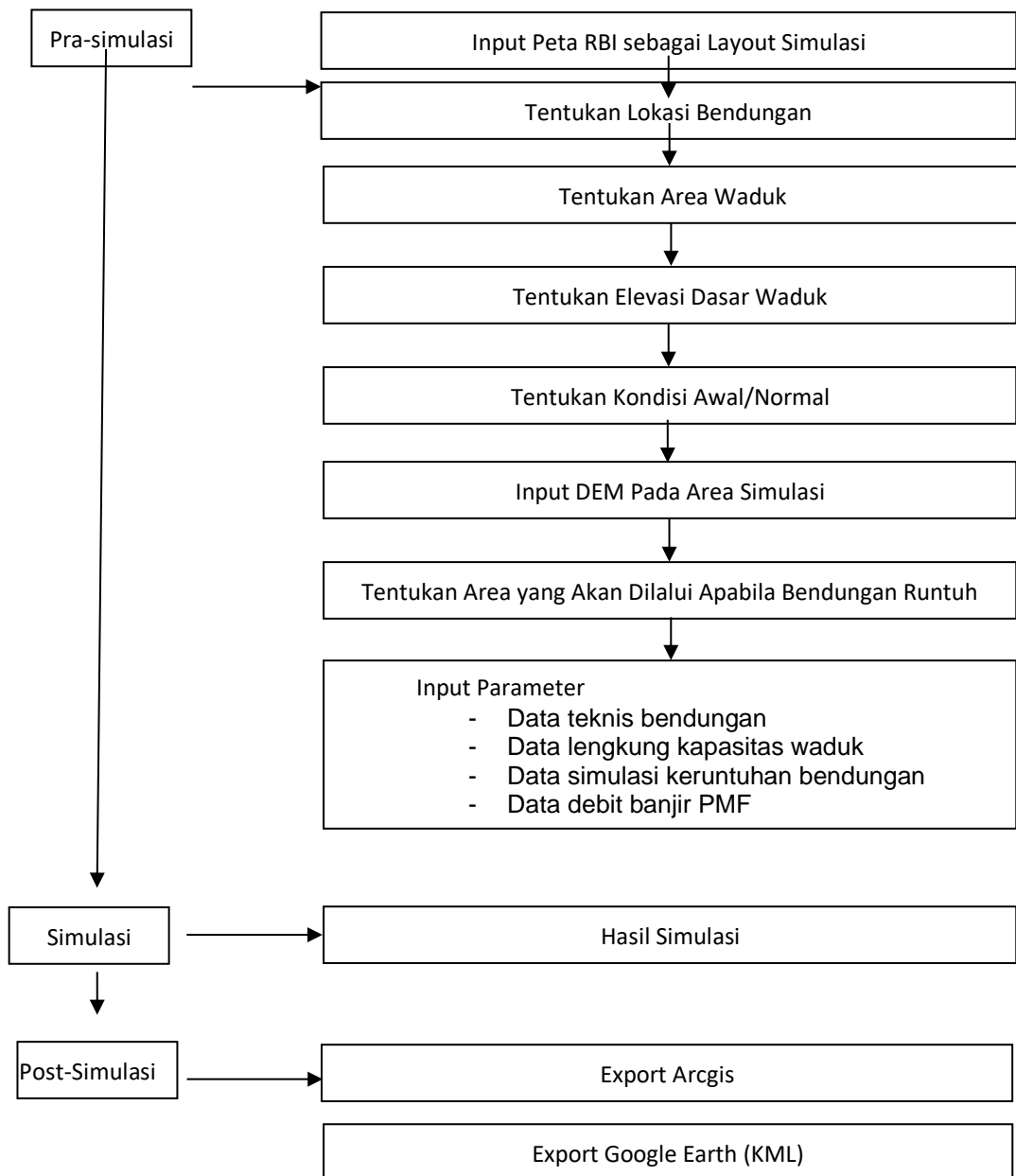
4) Simulasi Keruntuhan Bendungan

Simulasi awal Keruntuhan Bendungan / Dam Break Analysis dilakukan dengan menggunakan program ZHONG XING HY21. Simulasi keruntuhan bendungan dilakukan berdasarkan pedoman dan standar yang berlaku di Indonesia (termasuk satuan yang dipergunakan dalam satuan metrik). Bila standar yang dimaksud belum tersedia, akan dipergunakan standar internasional yang lazim dipakai di Indonesia. Sebelum melakukan analisis keruntuhan bendungan, Konsultan mengumpulkan data yang ada dan laporan studi terdahulu yang berkaitan dengan pekerjaan ini, khususnya mengenai keadaan geografi daerah di sebelah hilir bendungan.

Analisis keruntuhan bendungan ditinjau dalam alternatif kondisi akibat piping atas pada elevasi ± 123 m dengan inflow PMF, yang diperoleh berdasarkan studi terdahulu. Selain itu penampang melintang lembah di hilir bendungan termasuk bangunan-bangunan yang berada di sungai yang perlu diperhitungkan, juga dipersiapkan terlebih dahulu. Setelah data-data tersebut diatas disiapkan, maka pekerjaan analisis untuk keruntuhan bendungan dapat mulai dilaksanakan. Adapun tahap-tahap pelaksanaan simulasi keruntuhan bendungan ini secara sistimatis dijelaskan dalam bagan yang disajikan dalam gambar dibawah ini.

Tabel 3 Tabel Parameter Data yang Dibutuhkan dalam Simulasi Zhong Xing HY21

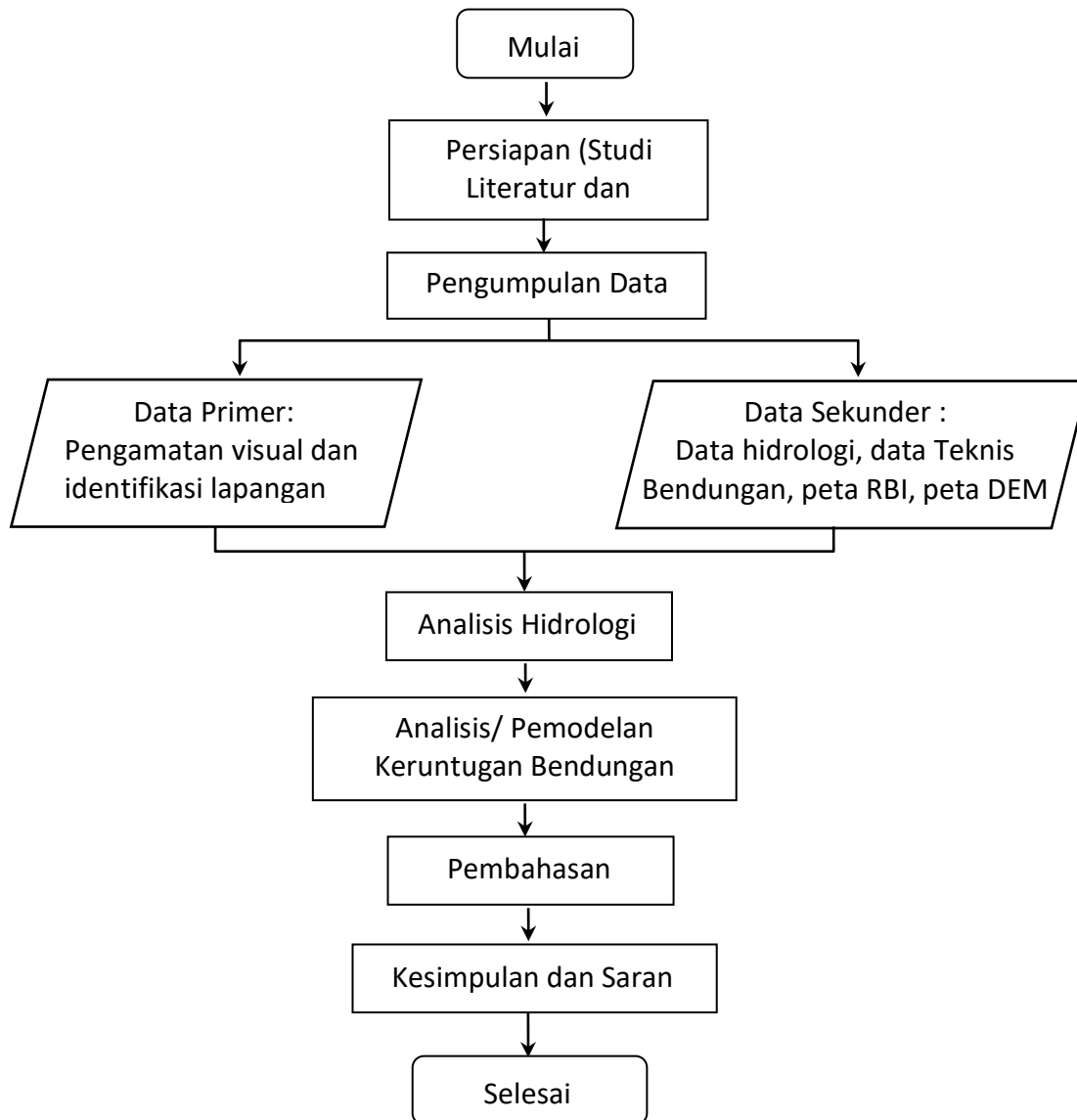
No	Parameter Data
1	Peta DEM
2	Peta Rupa Bumi Indonesia
3	Data teknis bendungan
4	Data lengkung kapasitas waduk
5	Data simulasi keruntuhan bendungan
6	Data debit banjir PMF



Gambar 8. Kerangka Analisis Simulasi Keruntuhan Bendungan Tempuran

4. METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir rencana pelaksanaan Penelitian dapat dilihat dalam gambar dibawah ini.



Gambar 9. Diagram Alir Penelitian

4.1. Pengumpulan Data

Data hujan yang digunakan untuk perhitungan debit banjir berasal dari stasiun hujan tempuran seperti terlihat pada tabel berikut ini.

Tabel 4 Data Curah Hujan Maksimum Stasiun Tempuran

No	Tahun	Hujan Tahunan (mm)	Hujan Harian Maksimal (mm)	Tanggal
1	2001	1783	67	25 November 2001
2	2002	1171	87	07 Maret 2002
3	2003	708	50	15 Februari 2003
4	2004	1171	87	07 Maret 2004
5	2005	1129	50	17 Maret 2005
6	2006	615	100	21 Maret 2005
7	2007	1249	77	04 Desember 2007
8	2008	1150	68	07 Maret 2008
9	2009	1087	90	26 Januari 2009
10	2010	2786	93	19 Oktober 2010
11	2011	1079	50	01 Februari 2011
12	2012	1010	45	11 Juni 2012
13	2013	1636	91	04 April 2013
14	2014	1318	47	18 Desember 2014
15	2015	1280	85	03 Januari 2015
16	2016	1805	91	16 November 2016

Sumber: Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juwana 2017

5. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1. Analisis Hidrologi

Dengan besaran statistik hujan rerata maksimum sebesar 73,63 mm, standar deviasi 19.53 dan konstanta harsfield (km) sebesar 16 diperoleh besar curah hujan maksimum boleh jadi (PMP) sebesar 386,06 mm.

Tabel 5 Hasil Analisis Hujan Rencana DAS Bendungan Tempuran

Kala Ulang	Hujan Rencana (mm)
2	73,78
5	90,79
10	100,56
20	107,71
50	117,88
100	123,93
PMP	386,06

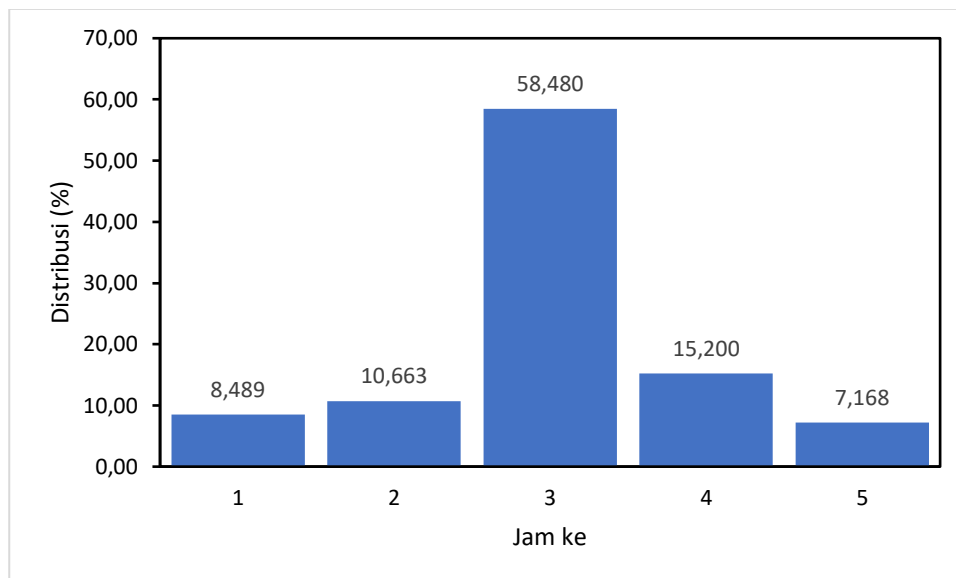
Sumber : Hasil Analisis

Analisis distribusi hujan jam-jaman dimaksudkan untuk mentransformasi curah hujan rancangan harian menjadi curah hujan jam-jaman. Pada umumnya data hujan yang tersedia pada suatu stasiun meteorologi adalah data hujan harian, artinya data yang tercatat secara kumulatif selama 24 jam, sedangkan analisis debit banjir rencana memerlukan masukan berupa curah hujan jam-jaman. Analisis distribusi hujan jam-jaman dihitung berdasarkan metode Alternating Block Method (ABM). Metode ini merupakan cara sederhana untuk membuat hyetograf rencana dari kurva IDF (Chow, 1988 dalam Triatmojo, 2008). Berdasarkan data hujan harian di wilayah perencanaan distribusi hujan untuk Bendungan Tempuran dapat dilihat pada Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 6 Distribusi Hujan DAS Bendungan Tempuran

Jam ke	1	2	3	4	5
Distribusi (%)	8,49	10,66	58,48	15,20	7,17

Sumber : Hasil Analisis



Gambar 3. 1 Distribusi Hujan Jam-Jaman

Sumber : Hasil analisis

Berdasarkan distribusi hujan jam-jaman tersebut dapat dihitung distribusi hujan untuk berbagai kala ulang hujan yang disajikan pada tabel berikut ini.

Tabel 7 Distribusi Hujan Jam-Jaman DAS Bendungan Tempuran

Jam	Distribusi (%)	Hujan Dalam Kala Ulang							
		2	5	8.37	8.98	50	100	1000	PMP
1	8,49	6.25	7.64	10.52	11.28	9.65	10.11	11.37	32.77
2	10,66	7.85	9.60	57.69	61.84	12.13	12.69	14.28	41.16
3	58,48	43.06	52.67	15.00	16.07	66.51	69.62	78.35	225.77
4	15,20	11.19	13.69	7.07	7.58	17.29	18.10	20.36	58.68
5	7,17	5.28	6.46	98.65	105.74	8.15	8.53	9.60	27.67
Hujan Rencana	100	73.63	90.06	8.37	8.98	113.73	119.05	133.97	386.06

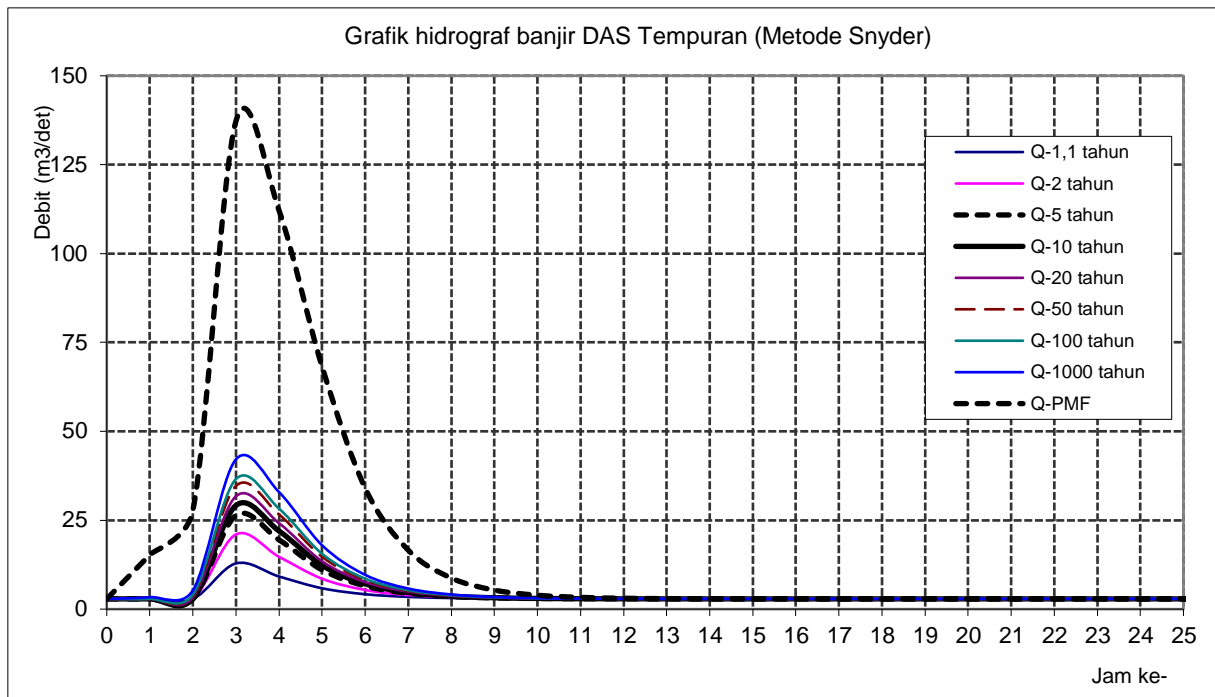
Sumber : Hasil analisis

Berdasarkan HSS metode Snyder dan Hujan Efektif dapat dihitung debit banjir rencana untuk DAS Bendungan untuk beberapa kala ulang sampai kala ulang PMF sebagai berikut.

Tabel 8 Hitungan Banjir Rancangan DAS Tempuran (SNYDER)

Jam ke	Q-Kala Ulang (m ³ /dt)								
	1.1	2	5	10	20	50	100	1000	PMF
0	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
1	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	3.374	15.291
2	2.883	2.883	2.883	2.899	3.320	3.794	4.110	5.306	27.794
3	12.868	21.018	26.371	29.178	31.755	34.654	36.587	42.151	137.257
4	9.183	14.716	19.484	21.981	24.165	26.624	28.263	32.920	112.107
5	5.868	8.551	11.029	12.326	13.451	14.718	15.562	17.955	68.181
6	4.200	5.391	6.513	7.100	7.608	8.180	8.561	9.641	34.015
7	3.447	3.959	4.445	4.700	4.920	5.167	5.332	5.799	16.591
8	3.121	3.338	3.545	3.653	3.746	3.851	3.921	4.119	8.748
9	2.983	3.074	3.161	3.206	3.245	3.289	3.319	3.402	5.357
10	2.925	2.962	2.999	3.018	3.034	3.053	3.065	3.100	3.919
11	2.900	2.916	2.931	2.939	2.946	2.953	2.959	2.973	3.315
12	2.890	2.897	2.903	2.906	2.909	2.912	2.914	2.920	3.062
13	2.886	2.889	2.891	2.893	2.894	2.895	2.896	2.898	2.957
14	2.884	2.885	2.886	2.887	2.887	2.888	2.888	2.889	2.914
15	2.883	2.884	2.884	2.885	2.885	2.885	2.885	2.886	2.896
16	2.883	2.883	2.883	2.884	2.884	2.884	2.884	2.884	2.888
17	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.885
18	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.884
19	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
20	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
21	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
22	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
23	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
24	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883
25	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883	2.883

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 3. 2 Hidrograf Banjir Beberapa Kala Ulang DAS Tempuran Metode Snyder

Sumber: Hasil Analisis

5.2. Analisis Keruntuhan Bendungan

Untuk menjalankan program Zhong Xing HY21 guna mendapatkan hasil analisis kehancuran bendungan, diperlukan data-data untuk menunjang analisis tersebut. Adapun secara garis besar data-data utama dan skenario yang digunakan adalah seperti dalam tabel berikut ini.

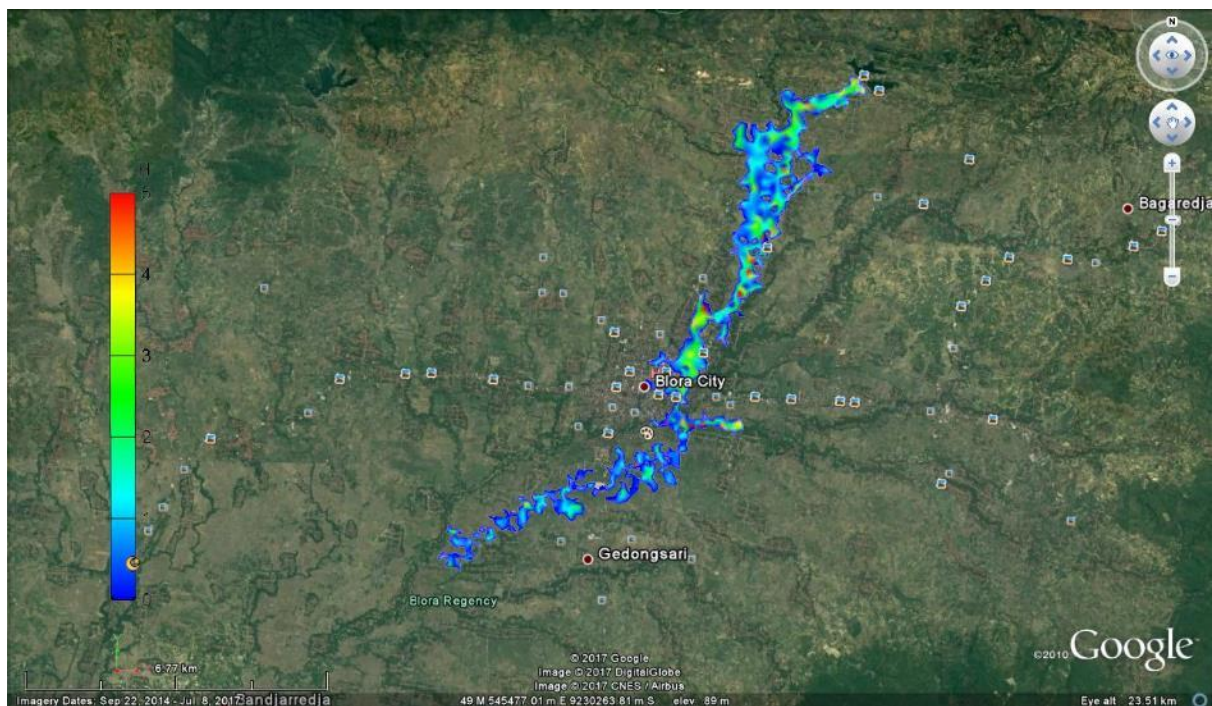
Tabel 9 Analisis Keruntuhan Bendungan Skenario Muka Air Waduk Setinggi Banjir Desain, Dimana Inflow Hidrograf Sama Dengan Banjir Rencana

Skenario	Piping Atas	Satuan
	(Skenario 1)	
Elevasi Puncak Bendungan	123	meter
Upper Boundary	As Bendungan	
Lower Boundary	-	
Panjang Bendungan	515	meter
El. Muka Air	122.726 (MAN Banjir Hasil Routing)	meter
Lebar Spillway	15.5	meter
El. Puncak Spillway	120.5	meter
El. Muka Air Mulai Runtuh (H_FAIL)	122.726	meter
El. Final Dasar Keruntuhan (H_BM)	113	meter
Lebar Rekahan Rata-rata (B_BAR)	40	meter

Skenario	Piping Atas	Satuan
	(Skenario 1)	
Waktu Keruntuhan (TIME_BF)	5400	detik
El. Pusat Piping (H_PIPE)	122.726	meter
Q_{inflow} PMF (Snyder)	137,257	m^3/dt

Sumber : Hasil Analisis

Hasil keluaran / *output* dari analisis keruntuhan bendungan adalah peta banjir sebagai dasar acuan untuk mengetahui sampai sejauh mana dampak banjir yang di timbulkan akibat keruntuhan bendungan tersebut. Dari hasil analisis keruntuhan bendungan dengan Zhong Xing-HY21 dapat digambarkan peta banjir akibat keruntuhan bendungan. Peta genangan dimaksudkan untuk memberi keterangan mengenai lokasi yang akan terkena bahaya banjir, sebagai akibat keruntuhan bendungan. Berdasarkan peta genangan ini, proses pemberitahuan (peringatan) kepada penduduk dan prosedur pengungsian bagi penduduk yang terkena resiko oleh Pemerintah Daerah setempat dapat dilaksanakan secara terkoordinasi. Pada tahap simulasi peta genangan dibuat berdasarkan peta google Earth, yang menunjukkan peta genangan banjir hasil keluaran / *output* dari Program ZhongXing-HY21 untuk semua kondisi keruntuhan bendungan.



Gambar 4. 1 Peta Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan Tempuran skenario Muka Air Waduk Setinggi Banjir Desain, Dimana Inflow Hidrograf Sama Dengan Banjir Rencana dan Keruntuhan Bendungan Akibat Piping Atas.

5.3. Pembahasan

Dari hasil analisis simulasi pemodelan keruntuhan bendungan Tempuran yang sudah di plotkan ke dalam Peta Rupa Bumi Indonesia, dapat diketahui wilayah yang terkena dampak banjir akibat keruntuhan Bendungan Tempuran. Disamping itu juga bisa diketahui berapa waktu yang diperlukan air Banjir untuk sampai ke masing-masing wilayah sesuai dengan jarak dan kondisi topografi di wilayah tersebut.

Untuk lebih jelasnya secara rinci wilayah-wilayah yang terkena dampak dapat dilihat dalam table berikut ini.

Tabel 10 Wilayah Terdampak Banjir, Jarak dari Bendungan, Kedalaman Banjir, dan Waktu Tiba Banjir

No	Daerah Terkena Resiko			Jarak dari Bendungan (Km)	Kedalaman Banjir (meter)	Waktu Tiba Sampai Lokasi (Jam)
	Desa	Kecamatan	Kabupaten			
1	Tempuran	Kota Blora	Blora	0,120	0,00 – 2,00	0,25
2	Sendangharjo	Kota Blora	Blora	0,294	0,00 – 2,00	1,50
3	Ngadipurwo	Kota Blora	Blora	1,127	0,00 – 2,00	1,74
4	Purwosari	Kota Blora	Blora	2,040	0,00 – 2,00	2,00
5	Keser	Tunjungan	Blora	3,046	0,00 – 2,00	2,05
6	Tambaksari	Kota Blora	Blora	3,690	0,00 – 2,00	2,25
7	Patalan	Kota Blora	Blora	3,400	0,00 – 2,00	2,50
8	Tempurejo	Kota Blora	Blora	5,358	0,00 – 2,00	2,75
9	Karangjati	Kota Blora	Blora	6,372	0,00 – 2,00	3,50
10	Tegalgunung	Kota Blora	Blora	7,579	0,00 – 0,60	3,70
11	Tempelan	Kota Blora	Blora	8,113	0,00 – 0,60	3,80
12	Bangle	Kota Blora	Blora	7,784	0,00 – 2,00	4,0
13	Kedungjenar	Kota Blora	Blora	8,444	0,00 – 0,60	4,50
14	Beran	Kota Blora	Blora	8,762	0,00 – 0,60	5,20
15	Kamolan	Kota Blora	Blora	9,912	0,00 – 0,60	6,00

Sumber : Hasil Analisis

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis dan pembahasan dari penelitian ini beberapa kesimpulan yang dapat diambil diantaranya adalah sebagai berikut ini :

- Hasil analisis hidrologi dengan data curah hujan di Stasiun Hujan Tempuran diperoleh besar curah hujan maksimum (PMP) sebesar 386,06 mm
- Analisis debit banjir rancangan (metode Snyder) dengan kala ulang PMF (*probably maximum flood*) diperoleh debit puncak Q_{inflow} sebesar 137.257 m³/det.
- Dari hasil pemodelan simulasi keruntuhan Bendungan Tempuran, dampak banjir yang ditimbulkan mencapai jarak terjauh 9,912 km di desa Kamolan.
- Tinggi genangan di wilayah terdampak bervariasi sesuai dengan kondisi topografi antara 0,6 meter s.d 2,00 meter.

6.2. Saran

Sesuai dengan maksud dan tujuan dari penelitian ini beberapa saran/ rekomendasi yang dapat penyusun sampaikan sebagai berikut ini.

- Perlu dilakukan analisis hidrologi dengan menggunakan metode lain sebagai pembandingan hasil debit banjir rancangan dan juga perlu adanya pemodelan lebih lanjut dengan menggunakan *software*/perangkat lunak lainnya seperti HEC RAS sebagai pembandingan hasilnya.

- b. Perlu di buat system peringatan dini/*early warning system* yang komprehensif dan terintegrasi sehingga bisa sebagai acuan dasar tindakan mitigasi bencana akibat keruntuhan dari bendungan tersebut.
- c. Perlu dilakukan tindak lanjut sebagai upaya untuk mitigasi bencana di wilayah terdampak secara sistematis mulai dengan penentuan titik kumpul, penentuan jalur evakuasi sampai dengan penentuan lokasi-lokasi pengungsian yang berada di wilayah yang berada di luar area terdampak.
- d. Perlu adanya tindak lanjut di berupa sosialisasi kepada masuarakat terutama di wilayah terdampak mengenai resiko dan Tindakan yang perlu dilakukan dalam upaya mitigasi bencana.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif Budiyanto, Muchamad, 2017, *Penelusuran Banjir Sungai Luk Ulo Akibat Perubahan Tutupan Lahan*, Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian, Jilid 14 No.1 Hal 26-39, Semarang
- Arif Budiyanto, Muchamad, 2018, *Penelusuran Waktu Perjalanan Banjir Dari Hulu Ke Hilir Sungai Code Sebagai Pertimbangan Early Warning Sistem*, Jurnal Teknik Sipil, Jilid 13 No.1 Hal 41-52, Yogyakarta
- Calvin, V. D., 1980, *Handbook of Applied Hidraulics*, McGraw Hill, New York
- Chow. V. T., 1992, *Open Chanel Hidraulics*, Erlangga, Jakarta
- Linsley. R. K., Franzini. J. B., 1979 *Water Resources Engineering 3rd Edition*, McGraw Hill, New York
- Loebis. J., 1992, *Banjir Rencana Untuk Bangunan Air*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta
- Sosrodarsono, B., 1977, *Bendungan Type Urugan*, Pradnya Paramita, Jakarta
- Sriharto BR, 1993, *Analisis Hidrologi*, PT. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Sriharto BR, 2000, *Hidrologi: Teori, Masalah, Penyelesaian*, Nafiri offset, Yogyakarta
- Sudjarwadi, 1988, *Teknik Sumber Daya Air*, Pusat Antar Universitas-Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Triatmodjo. B., 1995, *Hidrolika II*, Beta Offset, Yogyakarta
- Triatmodjo. B., 2008, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta